

Васянович М.Е., Дерябина Д.М., Пышкина М.Д.

СРАВНЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ АЭС ЕВРОПЫ

В данной работе было произведено сравнение удельных показателей выбросов радионуклидов в атмосферу с атомных электростанций (АЭС) Европы. Проведенный анализ позволяет определить структуру газо-аэрозольных выбросов, а также определить уровни радиационного воздействия на окружающую среду АЭС с разными типами реакторных установок (РУ).

Ключевые слова: АЭС, выбросы, радионуклиды, реакторная установка.

In this research the comparison of radionuclide specific indicators in airborne discharges to atmosphere from European nuclear power plants was carried out. The performed analysis allows to determine airborne discharge structure and the environmental impact of nuclear power plant with different types of reactor.

Keywords: NPP, airborne discharges, radionuclides, reactor.

Одним из главных достижений XX века по праву является ядерная энергетика. Применяемая человеком ядерная энергия является не только несомненным благом, но и таит в себе потенциальную опасность. Работающие во многих странах АЭС, являются источниками практически незаметного загрязнения радиоактивными отходами, с риском для человека и окружающей среды. В работе Екидина А.А. и др.[1] проводилась идентификация основных дозообразующих выбросов АЭС, которая показала, что уровень загрязнения зависит от типа и конструкции РУ АЭС. В результате работы АЭС образуются радиоактивные отходы трех типов: газоаэрозольные, жидкие и твердые.

Целью нашей работы является сравнение удельных показателей выбросов радионуклидов европейских АЭС с различными РУ. Удельный показатель получен как отношение величины годовой активности радионуклида на годовую выработку электрической энергии на каждой АЭС. Информация о выбросах радионуклидов с АЭС Европы представлена на сайте Европейской комиссии [2]. Данные о выработке электрической энергии АЭС представлены на сайте МАГАТЭ [3].

Анализ данных проводился по:

- 43 АЭС PWR – Pressurized Water Reactor (реактор с водой под давлением);
- 7 АЭС ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

- 13 АЭС BWR – Bowling Water Reactor (кипящий водяной реактор);
- 13 АЭС AGC – Advanced Gas-cooled Reactor (газоохлаждаемый реактор);
- 1 АЭС РБМК – реактор большой мощности канальный;
- 1 АЭС CANDU – тяжеловодный ядерный реактор.

Водо-водяной энергетический реактор относится к самому распространенному типу легководных реакторов. В реакторах этого типа используется вода в качестве и теплоносителя и замедлителя. В России производятся реакторы ВВЭР, в других странах общее название таких реакторов – PWR.

Не все страны Европы руководствуются рекомендацией Европейской комиссии по стандартизации информации по радиоактивным выбросам и сбросам в окружающую среду с ядерных энергоустановок и перерабатывающих заводов в нормальном режиме работы [4]. На территории Евросоюза количество контролируемых нуклидов на АЭС варьируется в зависимости от страны от 1 до 81 (таблица 1). На рисунке 1 приведен график, показывающий, что не менее чем 23 радионуклида контролируются 50% АЭС Европы. Сплошным цветом показаны радионуклиды, контроль которых рекомендует Европейская комиссия. Однако, рекомендуемые радионуклиды Sr -90, Pu-239 + Pu-240 и Am-241 контролируются только на 35, 13 и 16% АЭС Европы, соответственно. Радионуклиды, контролируемые на АЭС России показаны штриховкой.

Таблица 1

Количество контролируемых радионуклидов в выбросах АЭС

Страна	Кол. контролируемых нуклидов
Бельгия	1
Нидерланды	3
Великобритания	8
Румыния	28
Словения	30
Франция	32
Финляндия	36
Германия	37
Чехия	38
Венгрия	39
Литва	39
Словакия	42
Болгария	45
Испания	45
Швеция	81

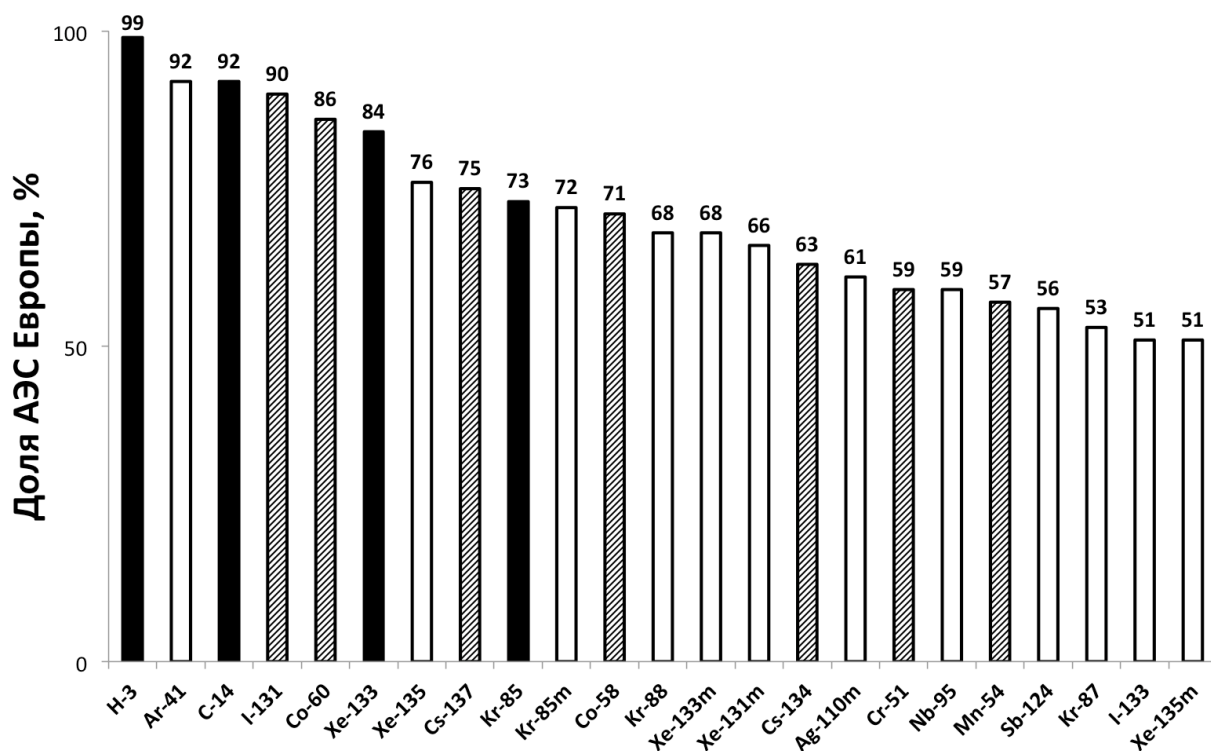


Рисунок 1. Доля АЭС Европы, контролирующих данный радионуклид

Выбросы на АЭС формируются из инертных радиоактивных газов (ИРГ) и остальных радионуклидов. Диаграммы приведены на рисунке 2.

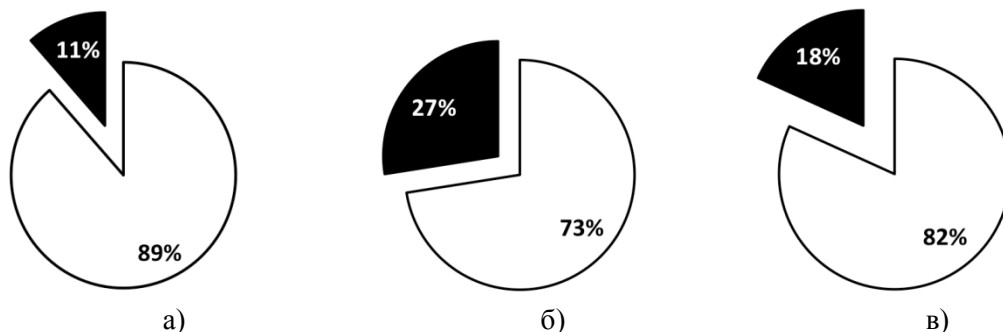


Рис. 2. Распределение суммарной активности удельных показателей выброса между ИРГ (светлый сектор) и остальных радионуклидов (темный сектор) на АЭС с реакторами а) BWR, б) PWR, в) ВВЭР

Различия в диаграммах объясняется тем, что количество ИРГ выбрасываемых в атмосферу на одноконтурных АЭС с реакторами типа BWR выше, чем на двухконтурных АЭС с реакторами PWR и ВВЭР.

Подробная структура суммарной активности удельных показателей ИРГ приведены на рисунках 3 – 5.

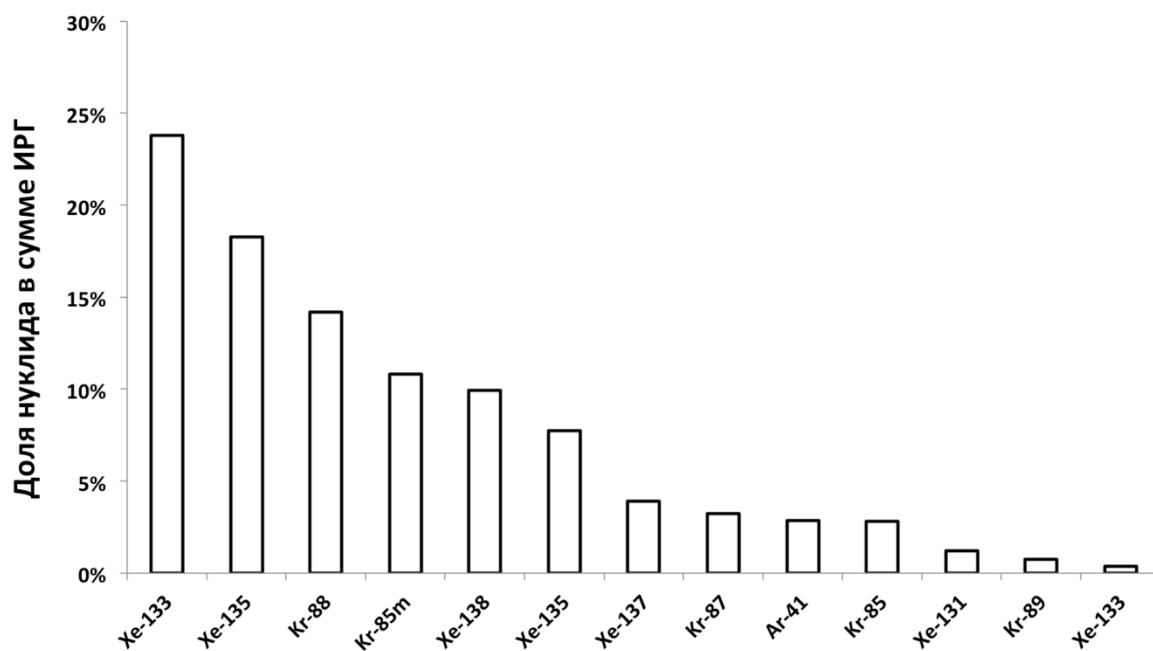


Рис. 3. Структура суммарной активности удельных показателей выбросов ИРГ с АЭС с реактором BWR

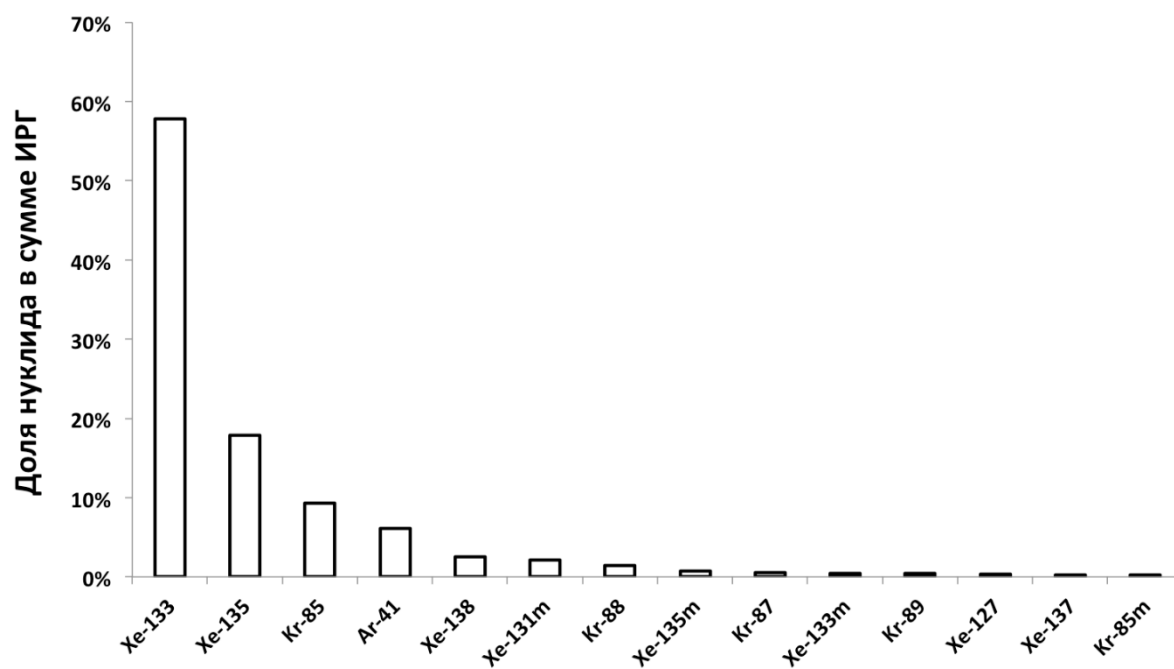


Рис. 4. Структура суммарной активности удельных показателей выбросов ИРГ с АЭС с реактором PWR

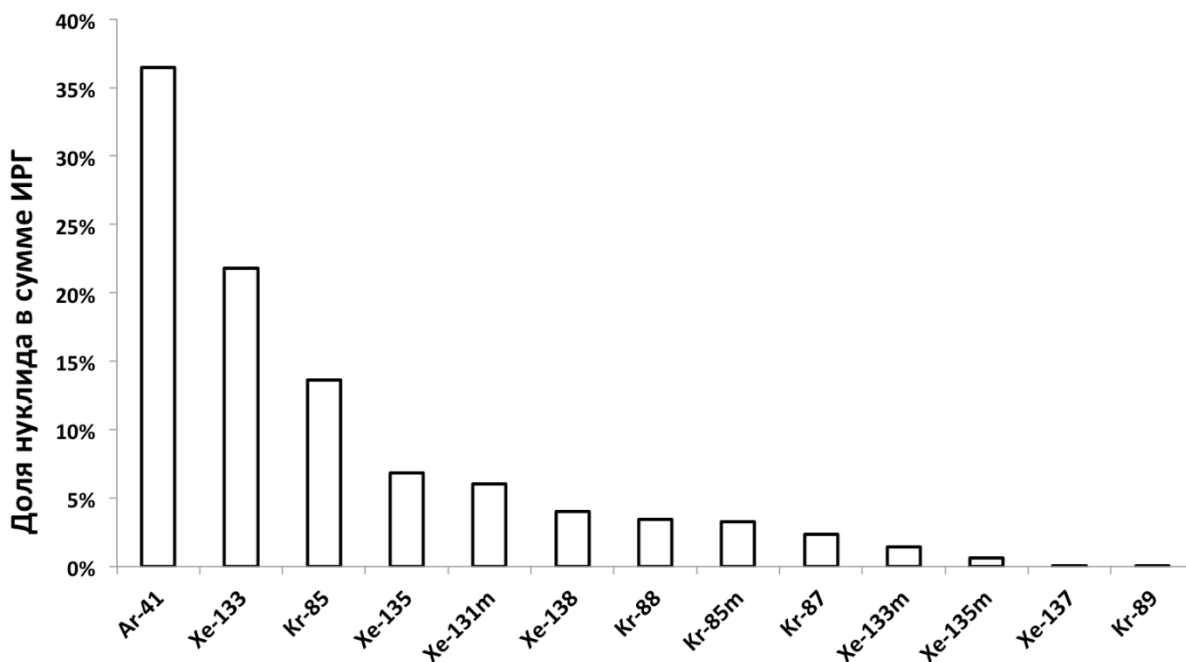


Рис. 5. Структура суммарной активности удельных показателей выбросов ИРГ с АЭС с реактором ВВЭР

Результаты анализа согласуются с ранее полученными данными, представленными в работе Крышева А. И. и др. [5]. Так вклад радиоактивных благородных газов в 1990 – 1996 на российских АЭС с ВВЭР составлял 48 ТБ к/ГВт*год, а вклад ИРГ на АЭС ВВЭР Европы по результатам проведенной работы, составил в среднем 7 ТБ к/ГВт*год, при условии 7000 рабочих часов в год.

Структуры суммарной активности удельных показателей выбросов газообразных радионуклидов, не включая ИРГ, для АЭС с разными типами РУ изображены на рисунке 6. Стоит отметить, что наибольший вклад в суммарную активность вносят ^3H и ^{14}C . Образование трития обусловлено, главным образом, наличием ^{10}B в теплоносителе. Изотоп ^{10}B имеет высокое сечение поглощения тепловых нейтронов (порядка 945 барн), поэтому он используется в теплоносителе для регулирования уровня мощности реактора. Тритий образуется в результате реакции $^{10}\text{B} (n, 2\alpha)^3\text{H}$. Образование ^{14}C происходит из азота в топливе (реакция $^{14}\text{N} (n, p)^{14}\text{C}$).

Суммарная активность удельных показателей выбросов ИРГ и других радионуклидов на АЭС с разным типом РУ представлены в таблице 3.

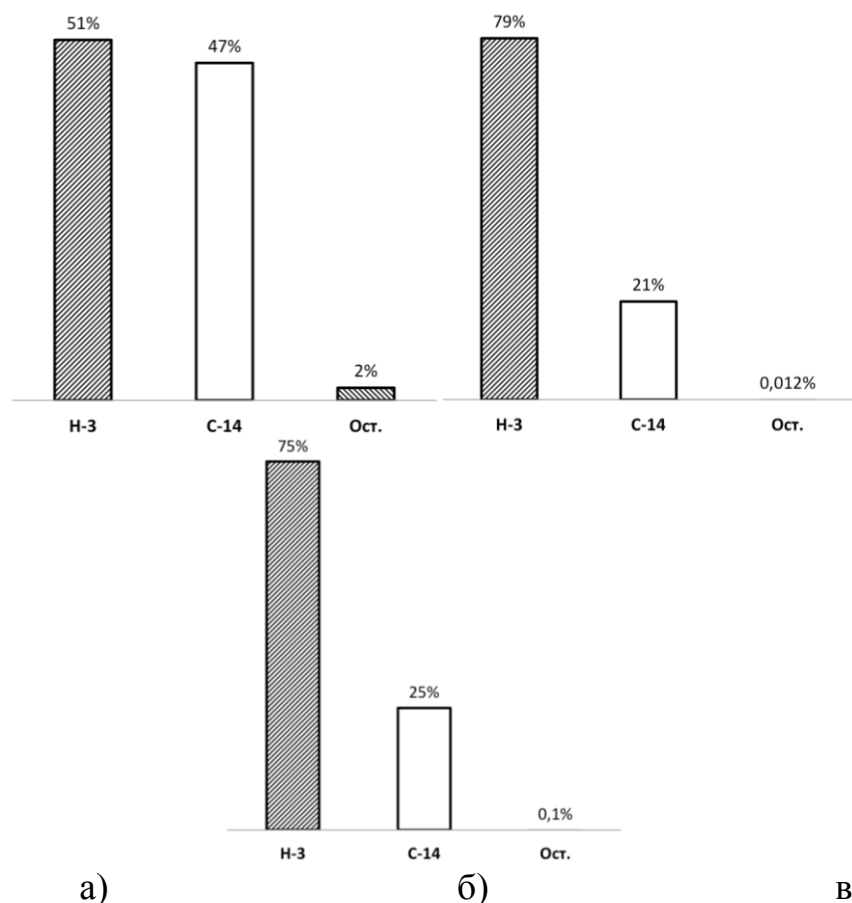


Рис. 6. Структура суммарной активности удельных показателей выбросов газообразных радионуклидов, не включая ИРГ, для АЭС с реакторами: а) BWR, б) PWR, в) ВВЭР

Сравнение выбросов радионуклидов не включает АЭС РБМК и АЭС CANDU из-за малого объема данных. Удельные показатели АЭС с AGR превышают аналогичные для АЭС с другими типами реакторных установок, исключение составляют ^{131}I и ^{133}Xe (таблица 2).

Таблица 2
Средние значение удельных показателей радионуклидов на АЭС с разными типами РУ, ГБк/ГВт*ч

Тип РУ	Ar-41	C-14	Co-60	Cs-137	H-3	I-131	Kr-85	Xe-133
AGR	1,12E+02	2,99E-01	6,73E-06	-	9,10E+00	1,35E-05	-	6,12E-01
BWR	3,74E-02	5,92E-02	5,71E-06	4,54E-07	6,16E-02	4,17E-05	5,89E-02	7,10E-01
PWR	2,18E-02	2,74E-02	1,01E-07	5,62E-08	6,96E-02	1,44E-06	7,23E-02	3,38E-01
ВВЭР	3,86E-01	4,70E-02	5,75E-07	5,88E-07	1,28E-01	8,36E-06	3,97E-02	1,98E-01

Таблица 3
Суммарная активность удельных показателей выбросов ИРГ и других радионуклидов на АЭС с разным типом РУ

Удельный показатель на выработанный ГВт*ч	АЭС BWR	АЭС PWR	АЭС ВВЭР
Суммарная активность ИРГ, ГБк/ГВт*ч	9,78E-01	3,48E-01	8,85E-01
Суммарная активность без учета ИРГ, ГБк/ГВт*ч	1,26E-01	1,32E-01	1,97E-01

Ранжирование АЭС с разными типами РУ проводилось по ^3H , так как уровень его не может быть снижен. Кроме того, ^3H также как ^{14}C , является биологически значимым радионуклидом. Результаты ранжирования представлены в таблице 4. Буква А – АЭС АGR, В – АЭС ВWR, Р - АЭС РWR, W - АЭС ВВЭР. Ранг I – наибольшее значение удельного показателя, ранг IV – наименьшее.

Таблица 4

Ранжирование АЭС с разными типами РУ по количеству выброса

Ранг	H-3	C-14	Ar-41	Co-60	Cs-137	I-131	Kr-85	Sr-90	Xe-133
I	A	A	A	B	A	B	-	-	A
II	W	B	W	A	W	A	P	B	B
III	P	W	P	W	B	W	W	W	W
IV	B	P	B	P	P	P	B	P	P

Выводы. Для всех рассмотренных АЭС выбрасываемую суммарную активность составляют инертные газы. Специфичной для АЭС каждого типа РУ является радионуклидный состав ИРГ.

Не менее 98% в суммарную активность, не учитывающую ИРГ вносят тритий и углерод.

Для АЭС Европы с РУ АGR средние значения и медианы удельных показателей выбросов радионуклидов на ГВт*ч статистически значимо выше аналогичных показателей для АЭС с другими типами РУ. Исключением являются ^{131}I и ^{131}Xe .

Наибольшее количество ^3H как и ^{14}C выбрасывают АЭС АGR. Наименьшее количество ^3H выбрасывают на АЭС ВWR, а ^{14}C – АЭС РWR.

Также, следует отметить, что ранжирование радионуклидов по вкладу в суммарную активность не соответствует вкладу в дозовую нагрузку.

Библиография

1. Екидин А.А., Жуковский М.В., Васянович М.Е. Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС. – Атомная энергия, 2016, т. 120, вып. 2, с. 106 – 108.
2. Официальный сайт базы данных Европейской Комиссии о выбросах и сбросах радиоактивных веществ <http://europa.eu/radd/nuclideDischargeOverview.dox?pageID=NuclideDischargeOverview> (Дата обращения: 01.02.2016)
3. Официальный сайт Международного Агентства по Атомной Энергии <https://www.iaea.org/PRIS/> (Дата обращения: 01.02.2016)
4. Loyola de Palacio Commission Recommendation of 18 December 2003 on standardised information on radioactive airborne and liquid discharges into the environment from nuclear power reactors and reprocessing plants in normal operation// Official Journal of the European Union. 2004. No. 2, P. L2/36 – L2/46
5. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Оценка риска радиоактивного загрязнения окружающей среды при эксплуатации АЭС. – Атомная энергия, 1998, т. 85, вып. 2, с 158 – 164.